

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Shigeki WATANABE

Serial No.: Unassigned

Group Art Unit: Unassigned

Filed: April 28, 2000

Examiner: Unassigned

For: METHOD, DEVICE, AND SYSTEM FOR REGENERATION AND APPLICATION  
OF OPTICAL CLOCK

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN**  
**APPLICATION IN ACCORDANCE**  
**WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55**

*Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231*

*Sir:*

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, the applicant(s) submit(s)  
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 11-133423, filed May 14, 1999.

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing  
date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements  
of 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY, LLP

Date: April 28, 2000

By: \_\_\_\_\_

James D. Halsey, Jr.  
Registration No. 22,729

700 Eleventh Street, N.W.  
Suite 500  
Washington, D.C. 20001  
(202) 434-1500



NEW PATENT APPLICATION CHECKLIST FOR MATTERS OF FORM

09 | 560723

Examiner:

The items checked below have been noted in processing this application as filed.

After the typist has included these statements in the first Office action, please initial this form in the margin to the left of the appropriate paragraph. Please do NOT remove from the file jacket.

1. SPECIFICATION, JUMBO APPLICATION NOT CHECKED FOR MINOR ERRORS (If more than 20 pages of description, exclusive of claims.)

☐ Because of the lengthy specification in this application, it has not been checked to the extent necessary to determine the presence of all possible minor errors. Applicant's cooperation is therefore requested in promptly correcting any errors of which he may become aware in the specification or drawings.

2. RESIDENCE OMITTED (MPEP 605.02 and 603.03)

☐ Applicant's residence has been omitted from the papers. The city and state of his post-office address will be presumed to be the city and state of his residence. If the above is incorrect, applicant should submit a statement of his place of residence no later than at the time of payment of the issue fee.

3. PRIORITY PAPERS, ACKNOWLEDGMENT (MPEP 201.14(c))

☒ Receipt is acknowledged of papers submitted under 35 U.S.C. 119, which papers have been placed of record in the file.

4. PRIORITY PAPERS, ACKNOWLEDGMENT, PAPERS IN PARENT APPLICATION (MPEP 201.14(b))

☐ Applicant's claim for priority, based on papers filed in parent application Serial No. \_\_\_\_\_ submitted under 35 U.S.C. 119, is acknowledged.

5. PRIORITY, CLAIM FOR BUT NO PAPERS FILED (MPEP 201.14(c))

☐ Acknowledgment is made of applicant's claim for priority based on an application filed in \_\_\_\_\_ on \_\_\_\_\_. It is noted, however, that applicant has not filed a certified copy of said application as required by 35 U.S.C. 119.

6. PRIORITY PAPERS, MORE THAN ONE YEAR SINCE FILING IN FOREIGN COUNTRY (MPEP 201.14(c))

☐ Receipt is acknowledged of the filing on \_\_\_\_\_, of a certified copy of the \_\_\_\_\_ application referred to in the \_\_\_\_\_. \* A claim for priority can not be based on said application, since the United States application was filed more than twelve months thereafter.

7. PRIORITY, REFERENCE IN OATH OR DECLARATION OMITTED (MPEP 201.14(c))

☐ Receipt is acknowledged of papers filed \_\_\_\_\_, based on an application filed in \_\_\_\_\_ on \_\_\_\_\_. Applicant has not complied with the requirements of Rule 65(a), since the \_\_\_\_\_ \* does not acknowledge the filing of any foreign application. A new \_\_\_\_\_ \* is required.

\* INSERT EITHER "DECLARATION" OR "OATH" WHICHEVER IS APPLICABLE.

CLERK

Lewis

DATE

8/1/00

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

1999年 5月14日

出 願 番 号  
Application Number:

平成11年特許願第133423号

出 願 人  
Applicant(s):

富士通株式会社

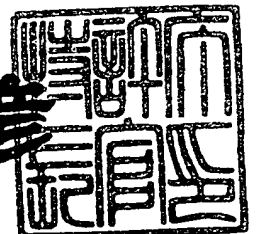


CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2000年 2月18日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-300856

【書類名】 特許願

【整理番号】 9901050

【提出日】 平成11年 5月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 03/098

【発明の名称】 光クロックの再生及び適用のための方法、装置及びシステム

【請求項の数】 16

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 渡辺 茂樹

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100075384

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 松本 昂

    【電話番号】 03-3582-7477

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 001764

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9704374

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光クロックの再生及び適用のための方法、装置及びシステム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周波数  $f_s$  で変調された信号光が供給される入力ポートと出力ポートとの間に設けられる光パスと、

上記光パスに光学的に結合される光ループとを備え、

上記光ループは、

上記光ループでレーザ発振が生じるように上記光ループの損失を補償する光増幅器と、

上記周波数  $f_s$  が上記光ループの周回周期の逆数の整数倍になるように上記光ループの光路長を調節する調節器と、

上記信号光に基づき上記レーザ発振をモードロックするための非線形光学媒質を含む光デバイス。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記光ループは上記レーザ発振の波長を含む通過帯域を有する光帯域通過フィルタを更に含む光デバイス。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記光パスと上記光ループを光学的に結合する光カプラを更に備え、上記光カプラによって上記光パス及び上記光ループの各々の一部が提供される光デバイス。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記非線形光学媒質は 3 次非線形光学媒質であり、

上記信号光をポンプ光とする四光波混合により上記非線形光学媒質において振幅変調が発生する光デバイス。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記非線形光学媒質は半導体光増幅器である光デバイス。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記非線形光学媒質はシングルモードファイバである光デバイス。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記非線形光学媒質は高非線形分散シフトファイバである光デバイス。

【請求項 8】 請求項 6 又は 7 に記載の光デバイスであって、

上記非線形光学媒質は上記信号光の波長に実質的に等しい零分散波長を有している光デバイス。

【請求項 9】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記入力ポートに光学的に接続され上記信号光を増幅する入力光増幅器を更に備えた光デバイス。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の光デバイスであって、

上記入力ポート及び上記入力光増幅器の間に光学的に接続され上記周波数  $f_S$  を含む通過帯域を有する光帯域通過フィルタをさらに備えた光デバイス。

【請求項 11】 請求項 1 に記載の光デバイスであって、

上記出力ポートに光学的に接続され上記出力ポートから出力された光クロックに基づき上記信号光の波形整形を行う波形整形器を更に備えた光デバイス。

【請求項 12】 請求項 11 に記載の光デバイスであって、

上記波形整形器は非線形ループミラーである光デバイス。

【請求項 13】 周波数  $f_S$  で変調された信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、

上記光ファイバ伝送路の出力端に接続された光デバイスとを備え、

上記光デバイスは、

上記信号光が供給される入力ポートと出力ポートとの間に設けられる光パスと

上記光パスに光学的に結合される光ループとを備えており、

上記光ループは、

上記光ループでレーザ発振が生じるように上記光ループの損失を補償する光増幅器と、

上記周波数  $f_S$  が上記光ループの周回周期の逆数の整数倍になるように上記光ループの光路長を調節する調節器と、

上記信号光に基づき上記レーザ発振をモードロックするための非線形光学媒質とを含むシステム。

【請求項 1 4】 信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、  
上記光ファイバ伝送路に沿って設けられた少なくとも 1 つの光中継器とを備え

上記少なくとも 1 つの光中継器の各々は、  
上記信号光によるレーザ発振のモードロックにより光クロックを再生する光ロ  
ック再生器と、

上記光クロック再生器により再生された光クロックに基づき上記信号光の波形  
整形を行う波形整形器とを備えているシステム。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 に記載のシステムであって、  
上記波形整形器は非線形ループミラーであるシステム。

【請求項 1 6】 (a) 非線形光学媒質を含む光ループでレーザ発振を生じ  
させるステップと、

(b) 周波数  $f_s$  で変調された信号光を上記光ループに導入するステップと、

(c) 上記周波数  $f_s$  が上記光ループの周回周期の逆数の整数倍になるように  
上記光ループの光路長を調節するステップと、

(d) 上記信号光に基づき上記レーザ発振をモードロックすることにより光ク  
ロックを再生するステップとを備えた方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光クロックの再生及び適用のための方法、装置及びシステムに関す  
る。

【0 0 0 2】

モードロックレーザ (Mode-locked laser: MLL) は、高  
品質なレーザ光源として最も一般的なものの 1 つであり、能動モードロックレー  
ザ (Active mode-locked laser) と受動モードロック  
レーザ (Passive mode-locked laser) とに大別され  
る。このうち能動モードロックレーザは、レーザ発振条件下で AM 変調又は FM  
変調を付加することによりその変調に同期したパルス光を発振するタイプである

。一方、受動モードロックレーザは、こうした変調を付加することはなしに、外部から入力したパルス光に応答してより時間幅の短いパルス光を発生させるタイプのものである。何れのモードロックレーザも、最も一般的には短パルス光源として用いられている。

#### 【 0 0 0 3 】

本発明は、外部から信号光（光通信に用いる一般的な信号光）を付加し、その信号光の基本周波数（変調周波数）に同期した連続パルス光を発振する能動モードロックレーザを提供し、その連続パルス光を光クロックとして出力するものであり、高品質なパルス光源としての利用はもとより、光中継器における光クロックの再生器として用いることも可能である。

#### 【 0 0 0 4 】

##### 【従来の技術】

従来、光クロックを再生するための装置として、入力信号光をフォトダイオード等の受光器により一旦電気信号に変換し、変換された電気信号に基づき電氣的に基本周波数を抽出した後、この基本周波数でレーザ光を強度変調することにより光クロックを得るようにしたものが知られている。この種の装置は、例えば、光ファイバ通信における再生中継器に適用されている。しかし、この装置の動作速度は信号処理に関連する電気回路によって制限されるので、適用可能な入力信号光のビットレートがその電気回路によって制限されるという問題がある。

#### 【 0 0 0 5 】

また、内部に光変調器（LN（リチウムナイオベート）変調器、EA（電界吸収）変調器等）を挿入した能動モードロックレーザにおいて、上述と同様に電氣的に再生した基本周波数でこの光変調器を変調してクロックパルスを再生するようにした光クロック再生器も知られている。

#### 【 0 0 0 6 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

何れの従来技術においても、光クロックを再生するために信号光を電気信号に変換する光／電気変換が必要であり、装置の動作が信号光のビットレートやパルス形状等に依存するという問題がある。



## 【0007】

よって、本発明の目的は、光／電気変換を必要とすることなしに、信号光のビットレートやパルス形状等に依存しない光クロックの再生及び適用のための方法、装置及びシステムを提供することにある。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の第1の側面によると、入力ポート及び出力ポート間に設けられる光パスと、光パスに光学的に結合される光ループとを備えた光デバイスが提供される。光パスの入力ポートには、周波数  $f_S$  で変調された信号光が供給される。光ループは、光ループでレーザ発振が生じるように光ループの損失を補償する光増幅器と、周波数  $f_S$  が光ループの周回周期の逆数の整数倍になるように光ループの光路長を調節する調節器と、光ループにおけるレーザ発振を信号光に基づきモードロックするための非線形光学媒質とを含む。

## 【0009】

例えば、非線形光学媒質は3次非線形光学媒質である。この場合、信号光をポンプ光とする四光波混合により非線形光学媒質において例えば振幅変調が発生し、光ループにおけるレーザ発振がモードロックされる。その結果、信号光の変調周波数  $f_S$  に等しい周波数で光クロックが再生される。

## 【0010】

このように、本発明によると、光／電気変換を行うことなしに、信号光のビットレートやパルス形状等に依存せずに光クロックを再生することができる。

## 【0011】

本発明の第2の側面によると、光デバイスは、更に、光パスの出力ポートに光学的に接続され出力ポートから出力された光クロックに基づき信号光の波形整形を行う波形整形器を備えている。波形整形器は例えば非線形ループミラーによって提供され得る。

## 【0012】

このように、本発明によると、光／電気変換を行うことなしに光クロックを再生することができるので、再生された光クロックに基づき容易に波形整形を行う

ことができる。

【0013】

本発明の第3の側面によると、信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、光ファイバ伝送路の出力端に接続された光デバイスとを備えたシステムが提供される。光デバイスは本発明の第1又は第2の側面による光デバイスによって提供される。

【0014】

本発明の第4の側面によると、信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、光ファイバ伝送路に沿って設けられた少なくとも1つの光中継器とを備えたシステムが提供される。少なくとも1つの光中継器の各々は、信号光によるレーザ発振のモードロックにより光クロックを再生する光クロック再生器と、光クロック再生器により再生された光クロックに基づき信号光の波形整形を行う波形整形器とを備えている。

【0015】

本発明の第5の側面によると、(a)非線形光学媒質を含む光ループでレーザ発振を生じさせるステップと、(b)周波数 $f_s$ で変調された信号光を上記光ループに導入するステップと、(c)上記周波数 $f_s$ が上記光ループの周回周期の逆数の整数倍になるように上記光ループの光路長を調節するステップと、(d)上記信号光に基づき上記レーザ発振をモードロックすることにより光クロックを再生するステップとを備えた方法が提供される。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。

【0017】

図1は本発明による光デバイス(装置)の第1実施形態を示すブロック図である。この光デバイスは、入力ポート2と出力ポート4との間に設けられる光パス6と、光パス6に光学的に結合される光ループ8とを備えている。光パス6及び光ループ8の各々は例えば光ファイバにより提供され、この場合、光パス6と光ループ8の光学的な結合はファイバ融着型の光カプラ10により行うことができ

る。従って、光カプラ 10 によって光パス 6 及び光ループ 8 の各々の一部が提供されている。

#### 【0018】

光ループ 8 は、光ループ 8 でレーザ発振が生じるように光ループ 8 の損失を補償する光増幅器 12 と、可変な遅延時間  $\tau$  を有する遅延回路からなる調節器 14 と、非線形媒質（非線形光学媒質）16 とを含む。特にこの実施形態では、光ループ 8 は更にレーザ発振の波長  $\lambda_c$  を含む通過帯域を有する光帯域通過フィルタ 18 を含む。

#### 【0019】

入力ポート 2 には周波数  $f_s$  で変調された信号光が供給され、供給された信号光の一部は光カプラ 10 を介して光ループ 8 内に導入される。光ループ 8 の光路長  $L$  は、信号光の変調周波数  $f_s$  が光ループ 8 の周回周期の逆数  $\Delta\nu = c/L$  ( $c$ : 光速) の整数倍に等しくなるように、調節器 14 により予め調節される。光増幅器 12 としては、例えば EDFA (エルビウムドープファイバ増幅器) を用いることができる。

#### 【0020】

特にこの実施形態では、非線形媒質 16 として 3 次非線形媒質が用いられ、信号光の導入により非線形媒質 16 内で AM 変調或いは FM 変調が生じ、光ループ 8 のレーザ発振がモードロックされる。その結果、波長  $\lambda_c$ 、周波数  $f_s$  のクロックパルス（光クロック）が発生し或いは再生され、そのクロックパルスは光カプラ 10 を介して出力ポート 4 から出力される。より特定のには次の通りである。

#### 【0021】

まず、光ループ 8 によるリングレーザにより波長  $\lambda_c$  の連続発振 (CW) レーザ光を発振させておき、そこに波長  $\lambda_s$ 、周波数（ビットレート或いは速度） $f_s$  の信号光を入力する。このとき、非線形媒質 16 内でこの信号光をポンプ光（励起光）とする四光波混合 (FWM) が発生し、波長  $\lambda_c$  の CW 光に信号光による AM 変調がかかる。この AM 変調には基本周波数  $f_s$  の成分が含まれており、前述した光ループ 8 の光路長の設定により、周波数  $f_s$  のクロックパルスが発生する。

## 【0022】

このように、本実施形態においては光／電気変換を行うことなしにクロックパルスを得ることができるので、信号光のビットレートやパルス形状等に依存しない全光クロック再生器を提供することが可能である。

## 【0023】

非線形媒質16としては、半導体光増幅器(SOA)、シングルモードファイバ、或いは分散シフトファイバ(DSF)を用いることができる。DSFとしては、非線形効果が大きい高非線形DSF(HNL-DSF)を用いるのが有効である。

## 【0024】

非線形媒質16としてSOA20を用いた実施形態を図2に示し、非線形媒質16としてHNL-DSF22を用いた実施形態を図3に示す。図2に示されるように、非線形媒質16としてSOA20を用いた場合には、非線形媒質16において利得が生じるので、光ループ8におけるレーザ発振を維持する為の光増幅器12は省略されても良い。更に、より一般的には、非線形媒質16における線形又は非線形な利得が十分大きい場合には、光増幅器12を省略することが出来る。

## 【0025】

図3に示されるように、非線形媒質16としてHNL-DSF22が用いられている場合には、非線形媒質16においてFWMを最も効果的に発生させるために、信号光の波長 $\lambda_s$ をHNL-DSF22の零分散波長 $\lambda_0$ に実質的に等しく設定するのが良い。これにより最適な位相整合が達成され、最も広い変換帯域と最大の変換効率が得られる。ここで、「変換」という語は信号光からクロックパルスへの変換という意味で用いられている。また、HNL-DSF22の零分散波長 $\lambda_0$ を高精度に一定値に管理することによって、帯域を拡大することができる。より特定のには次の通りである。

## 【0026】

通常のDSFの非線形係数 $\gamma$ は $2 \cdot 6 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 程度と小さいので、FWMを発生させるための非線形媒質16として通常のDSFを用いる場合に十分な変換効

率を得るためには、ファイバ長を10 km以上にすることが要求される。従って、ファイバ長を短くするのに十分大きな非線形係数 $\gamma$ を有するDSF（前述のHNL-DSF）の提供が要望されているのである。FWMを発生させるための非線形媒質16として使用されるDSFの長さを短くすることができるとすれば、その零分散波長を高精度に管理することができ、従って信号光の波長をDSFの零分散波長に正確に一致させるのが容易になり、その結果広い帯域を得ることができる。

## 【0027】

非線形係数 $\gamma$ を大きくするためには、非線形屈折率 $n_2$ を大きくし或いは有効コア断面積 $A_{\text{eff}}$ に対応するモードフィールド径（MFD）を小さくすることが有効である。非線形屈折率 $n_2$ を大きくするためには、例えば、クラッドにフッ素等をドーピングし或いはコアに高濃度の $\text{GeO}_2$ をドーピングすれば良い。コアに $\text{GeO}_2$ を25乃至30 mol %ドーピングすることによって、非線形屈折率 $n_2$ として $5 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ 以上の大きな値が得られている（通常のシリカファイバでは約 $3.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ ）。MFDを小さくすることは、比屈折率差 $\Delta$ 又はコアの形状の設計により可能である。例えば、コアに $\text{GeO}_2$ を25乃至30 mol %ドーピングし、且つ、比屈折率差 $\Delta$ を2.5乃至3.0%に設定することによって、 $4 \mu\text{m}$ よりも小さなMFDの値が得られている。これらの総合効果として、 $15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 以上の大きな非線形係数 $\gamma$ の値が得られている。

## 【0028】

他に重要な要素として、このような大きな値の非線形係数 $\gamma$ を提供するDSFが信号光の波長に実質的に一致する零分散波長を有するべきであることがあげられる。零分散波長と信号光の波長とのこのような一致性は、ファイバパラメータ（例えば比屈折率差 $\Delta$ やMFD）を例えば次のようにして設定することにより可能である。一般的なファイバにおいては、MFDを一定にした条件で比屈折率差 $\Delta$ を大きくすると、分散値は正常分散領域で大きくなる。一方、コア径を大きくすると分散は減少し、コア径を小さくすると分散は大きくなる。従って、MFDを信号光帯域に適合するある値に設定した後に、零分散波長が信号光の予め定められた波長に一致するようにコア径を調節することによって、信号光に対する零

分散が得られる。

【0029】

長さ $L$ 、損失 $\alpha$ の光ファイバにおける変換効率 $\eta_c$ は、

$$\eta_c = \exp(-\alpha L) (\gamma P_p L)^2 \dots\dots (1)$$

で近似することができる。ここで、 $P_p$ は平均ポンプ光パワー（信号光パワー）である。従って、非線形係数 $\gamma$ が $15\text{ W}^{-1}\text{ km}^{-1}$ のファイバは通常のDSFに比べて $2.6/15 \div 1/5.7$ 程度の長さで同じ変換効率を達成可能である。通常のDSFにあっては、十分大きな変換効率を得るためには、前述のように $10\text{ km}$ 程度の長さが必要であるのに対して、このように大きな非線形係数 $\gamma$ を有するHNL-DSFにあっては、 $1$ 乃至 $2\text{ km}$ 程度の長さで同様の変換効率を得ることができる。実際には、ファイバ長が短くなる分損失も小さくなるので、同じ変換効率を得るために更にファイバ長を短くすることができる。このような短い長さのDSFにおいては、零分散波長の制御性がよくなり、従って、信号光の波長を零分散波長に正確に一致させることができ、帯域を拡大することが出来る。更に、数 $\text{km}$ のファイバ長であれば、偏波面保存能力が確保されているので、このようなHNL-DSFの使用は高い変換効率及び広い変換帯域を達成し且つ偏波依存性を排除する上で極めて有効である。

【0030】

ところで、実際には、光ファイバの製造技術上の問題により零分散波長が長手方向にばらつくため、位相整合条件が理想状態からずれ、これにより帯域が制限される可能性がある。しかし、このような場合であっても、光ファイバを切断して複数の小区間に分割し、零分散波長の似ている区間同士をスプライス等によりつなぎ合わせて行く（当初のファイバ端から数えた順番とは違う順番で）ことにより、全長に於ける平均分散は同じであるにもかかわらず、広い帯域を得ることができる。

【0031】

或いは又、十分広い帯域を得るのに必要な程度に高精度な分散制御が可能な長さ（例えば数百 $\text{m}$ 以下）のファイバを予め多数用意しておき、所要の零分散波長のものを組み合わせてスプライスして所要の変換効率を得るのに必要な長さのフ

ファイバを得、これを非線形媒質として用いても良い。

#### 【0032】

このようにして帯域を拡大する場合には、非線形媒質のポンプ光（信号光）入力端の近くでポンプ光のパワーが高いので、ポンプ光入力端の近くに零分散波長の小さい部分或いは零分散波長のばらつきが小さい部分を集めることが有効である。また、必要に応じて順次分割数を増やしたり、ポンプ光入力端から離れた位置で比較的分散値の大きな所では、分散値の正負を交互に配置する等により適切に組み合わせることによって、更に帯域を拡大することができる。

#### 【0033】

光ファイバを分割するに際して各区間をどの程度短くすれば十分か否かの目安としては、例えば、非線形長を基準にすれば良い。非線形長に比べて十分短いファイバ内でのFWMにおいては、位相整合はそのファイバの平均分散値に依存すると考えることができる。一例として、非線形係数 $\gamma$ が $2.6 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ のファイバで30 mW程度のポンプ光パワーを用いたFWMにおいては、非線形長は12.8 km程度になるから、その1/10程度、即ち1 km程度が1つの目安となる。他の例としては、非線形係数 $\gamma$ が $15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ のファイバで30 mW程度のポンプ光パワーを用いたFWMにおいては、非線形長は2.2 km程度になるから、その1/10程度、即ち200 mが1つの目安となろう。いずれにしても、非線形長に比べて十分短いファイバの平均零分散波長を測定し、ほぼ同じ値のものを組み合わせて非線形媒質を提供することによって、変換効率を高め且つ帯域を拡大することができる。

#### 【0034】

なお、非線形媒質16として、HNLF-DSF22を用いる場合に、信号光パワーが高いことにより発生する誘導ブリュアン散乱（SBS）を抑圧する必要がある場合には、信号のビットレートに比べて十分低速の周波数で信号光について周波数変調或いは位相変調を行うと良い。

#### 【0035】

図4は本発明による光デバイスの第4実施形態を示すブロック図である。ここでは、非線形媒質16におけるFWMの効率を高めるべく信号光のパワーを高め

るために、入力ポート 2 と光カプラ 10 との間に光増幅器 24 が接続されている。光増幅器 24 は例えば E D F A である。また、光増幅器 24 で付加される自然放出光 (A S E) 雑音を除去するために、光増幅器 24 と光カプラ 10 との間に光帯域通過フィルタ 26 が設けられている。フィルタ 26 は信号光の波長  $\lambda_s$  を含む通過帯域を有している。

## 【0036】

更にこの実施形態では、再生されたクロックパルスを抽出するために、光カプラ 10 と出力ポート 4 との間に光帯域通過フィルタ 28 が設けられている。フィルタ 28 はクロックパルスの波長  $\lambda_c$  を含む通過帯域を有している。フィルタ 28 を用いることによって、フィルタ 28 で信号光が除去されるので、得られたクロックパルスだけを出力ポート 4 から出力することが出来る。

## 【0037】

図 5 は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。このシステムは、信号光を伝送する光ファイバ伝送路 30 と、光ファイバ伝送路 30 に沿って設けられた複数の (図では二つの) 光中継器 (R) 32 とを備えている。1つの光中継器が用いられても良い。信号光は光送信機 (OS) 34 から光ファイバ伝送路 30 に供給され、光ファイバ伝送路 30 により伝送された信号光は光受信機 (OR) 36 により受信される。

## 【0038】

本発明によると、光/電気変換を行うことなしに各光中継器 32 において、所謂 3R 機能が得られる。ここで、3R は波形等化 (Reshaping)、タイミング再生 (Retiming) 及び識別再生 (Regeneration) である。

## 【0039】

図 6 は図 5 に示される各光中継器 32 の実施形態を示すブロック図である。供給された信号光は分岐点 38 において第 1 及び第 2 の信号光に分けられる。分岐点 38 は例えば光カプラにより提供される。第 1 の信号光は、光増幅器 40 により予め定められた利得により増幅され、増幅された信号光は波形整形器 42 に供給される。第 2 の信号光はクロック再生器 44 に供給される。クロック再生器 4



4 は、本発明に従って、信号光によるレーザ発振のモードロックによりクロックパルスを再生する。波形整形器 42 は、クロック再生器 44 により再生されたクロックパルスに基づき信号光の波形整形を行う。波形整形により得られた再生信号光は波形整形器 42 から出力される。

#### 【0040】

より特定的には、波形整形器 42 は光レベルでの識別機能を有しており、識別点よりも高い信号強度のパルスならばオンパルス、識別点よりも低いレベルのパルスならばオフパルスと認識し、オンパルスと認識した場合には光パルスを出力するが、オフレベルと認識した場合には光パルスは出力しない。この波形整形の機能を再生されたクロックパルスに同期して行えば、タイミングも含めて光レベルでの信号再生が可能になる。

#### 【0041】

図 5 に示されるシステムにおいては、光ファイバ伝送路 30 における分散や非線形光学効果により信号光の波形が歪んだり、光増幅器による中継伝送に際しての光増幅器の ASE 雑音の累積により波形劣化が生じる。図 6 に示される光中継器 32 の構成によると、本発明に従って 3R 機能が得られるので、これらの機能を繰り返すことによって長距離の伝送が可能になる。

#### 【0042】

図 6 に示される実施形態では、光増幅器 40 は分岐点 38 と波形整形器 42 との間に設けられているが、光増幅器 40 は分岐点 38 の上流側、波形整形器 42 の内部或いは波形整形器 42 の下流側に設けられていても良い。光増幅器 40 は例えば EDFA である。

#### 【0043】

この実施形態では、本発明による光デバイスは光中継器 32 に含まれるクロック再生器 44 として用いられているが、光ファイバ伝送路 30 の出力端において本発明による光デバイスによりクロックパルスを再生してもよい。この場合、本発明による光デバイスは例えば光受信機 36 内に設けられる。

#### 【0044】

波形整形器 42 としては、例えば過飽和吸収体を用いたものが適用可能である

。入力信号光のパワーに対して、パルスの立ち上がり（低パワー部）及びピーク（高パワー部）における非線形（飽和）効果により、これらの部分での波形歪みを圧縮することが出来る。

## 【0045】

図7は図6に示される光中継器32の具体例を示すブロック図である。波形整形器42として非線形ループミラー（NOLM）が用いられている。

## 【0046】

より特定的には、波形整形器42は、方向性結合される光路46及び48を含む光カプラ50と、光路46及び48を接続するループ光路52と、ループ光路52に方向性結合される光路54を含む光カプラ56とを備えている。ループ光路52は例えばHNL-DSFにより提供される。光路46はクロック再生器44に接続され、光路48はこの光中継器32の出力ポートとなり、光路54は光増幅器40に接続される。

## 【0047】

クロック再生器44により再生されたクロックパルスはプローブパルスとして、又、光増幅器40により増幅された信号光は制御パルスとしてこのNOLMに供給される。入力信号光のパワー $P_S$ を調整し、光カプラ50で分岐されてループ光路52内を時計回りに伝搬するクロックパルスと反時計回りに伝搬するクロックパルスの位相シフトの差 $\Phi$ が概ね $\pi$ になるようにする。このとき、クロックパルスのスイッチングが起こり、波形整形された再生信号光がクロックパルスの波長と同じ波長で発生する。

## 【0048】

なお、ループ光路52として用いられるHNL-DSFの分散は、二つのパルス（信号光のパルスの1つとクロックパルスの1つ）のウォークオフ（Walk-off）が発生しないように設定するのが望ましい。一例としては、HNL-DSFの零分散波長を信号光波長とクロックパルスの波長の中間付近に設定する。或いは、零分散波長を二つのパルスよりも長波長側或いは短波長側に設定する。長波長側に設定する場合には、正常分散領域となり、変調不安定効果を抑圧可能である。また、短波長側に設定する場合には、異常分散領域となり、ソリトン

効果を用いることが可能である。零分散波長をどのように設定するかは実際のシステム条件に応じて決定することができる。

【 0 0 4 9 】

また、必要に応じて、光フィルタ及び光アイソレータ等を図 7 に示される構成の前後或いは構成内に設けても良い。

【 0 0 5 0 】

上述の実施形態では、波形整形器として N O L M を例示したが、同様の原理に従う干渉計構成のものを用いても良い。

【 0 0 5 1 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、光／電気変換を行うことなしに、信号光のビットレートやパルス形状等に依存しない光クロックの再生及び適用のための方法、装置及びシステムの提供が可能になるという効果が生じる。その結果、現状の線形光通信システムにおける各種の性能限界の打破が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は本発明による光デバイスの第 1 実施形態を示すブロック図である。

【図 2】

図 2 は本発明による光デバイスの第 2 実施形態を示すブロック図である。

【図 3】

図 3 は本発明による光デバイスの第 3 実施形態を示すブロック図である。

【図 4】

図 4 は本発明による光デバイスの第 4 実施形態を示すブロック図である。

【図 5】

図 5 は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。

【図 6】

図 6 は図 5 に示される各光中継器の実施形態を示すブロック図である。

【図 7】

図 7 は図 6 に示される光中継器の具体例を示すブロック図である。

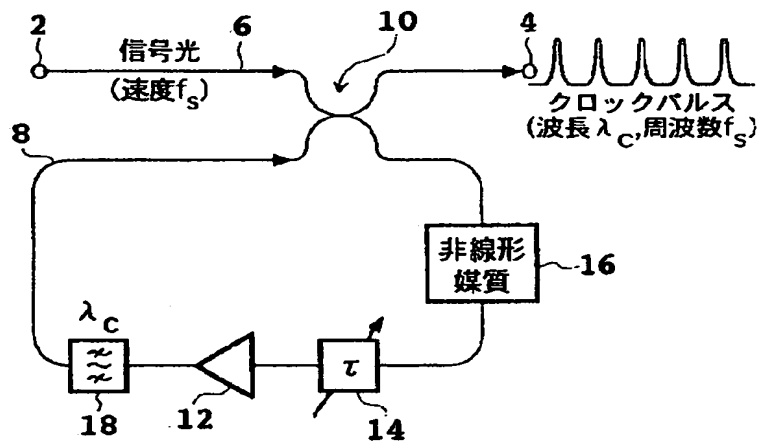
【符号の説明】

- 2 入力ポート
- 4 出力ポート
- 6 光パス
- 8 光ループ
- 1 0 光カプラ
- 1 2, 2 4, 4 0 光増幅器
- 1 4 調節器
- 1 6 非線形媒質

【書類名】 図面

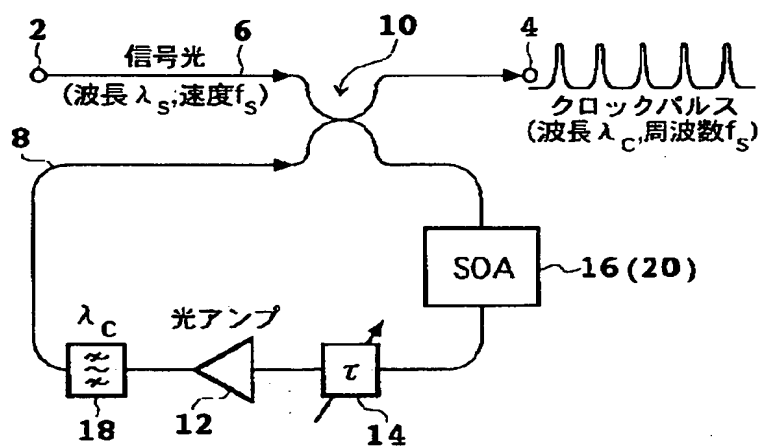
【図 1】

本発明による  
光デバイスの第 1 実施形態を示すブロック図



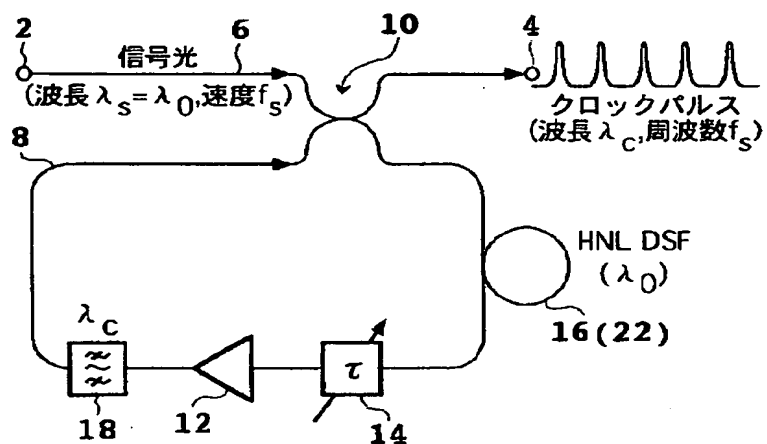
【図 2】

本発明による  
光デバイスの第 2 実施形態を示すブロック図



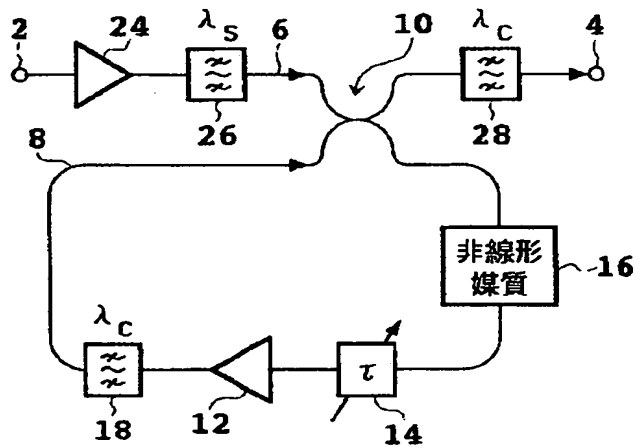
【図 3】

本発明による  
光デバイスの第 3 実施形態を示すブロック図



【図 4】

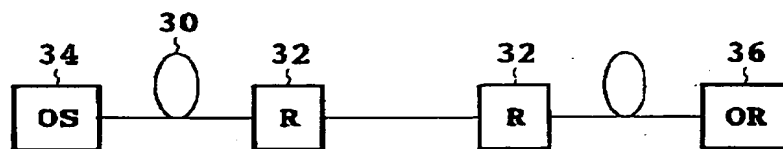
本発明による  
光デバイスの第 4 実施形態を示すブロック図





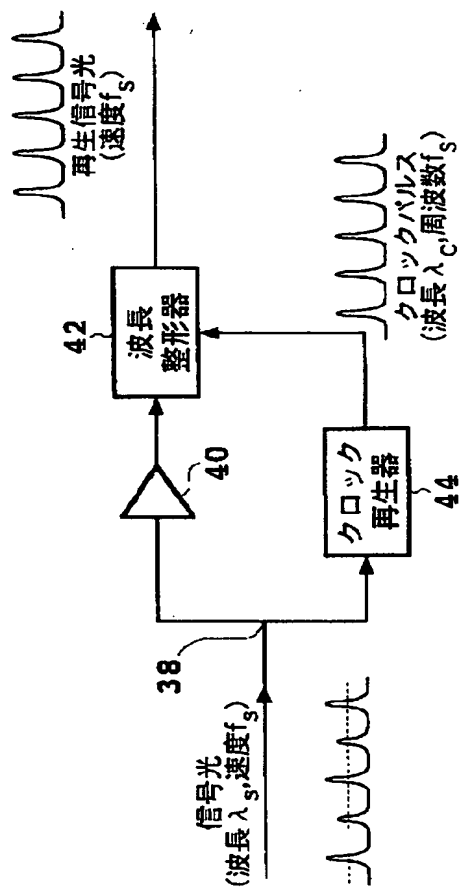
【図 5】

本発明による  
システムの実施形態を示すブロック図



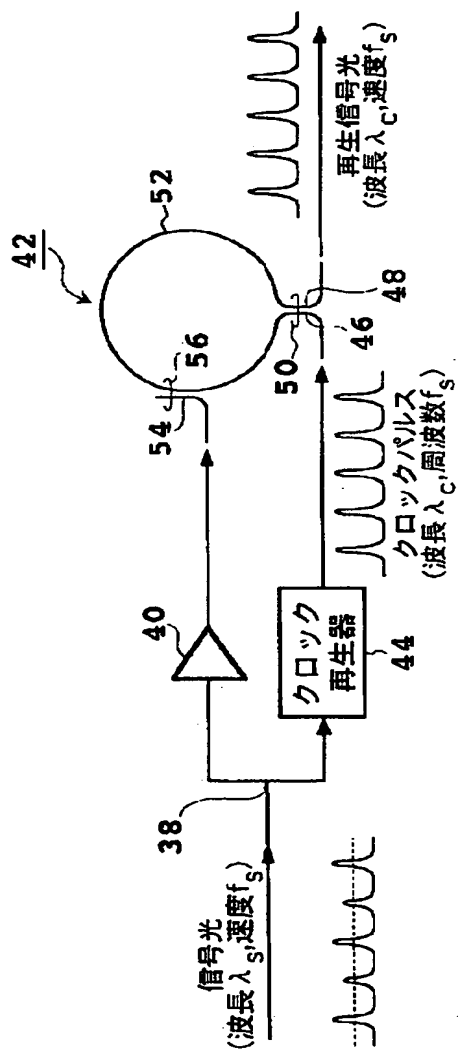
【図 6】

図 5 に示される  
各光中継器 32 の実施形態を示すブロック図



【図 7】

図 6 に示される  
光中継器 32 の具体例を示すブロック図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は光クロックの再生及び適用のための方法、装置及びシステムに関し、光／電気変換を行うことなしに、信号光のビットレートやパルス形状等に依存せずに光クロックを再生することを主な課題としている。

【解決手段】 本発明は光クロックを再生するための光デバイスに関連している。光デバイスは、周波数  $f_S$  で変調された信号光が供給される入力ポート 2 と出力ポート 4 との間に設けられる光パス 6 と、光パスに光学的に結合される光ループ 8 とを備えている。光ループは、光ループでレーザ発振が生じるように光ループの損失を補償する光増幅器 12 と、周波数  $f_S$  が光ループの周回周期の逆数の整数倍になるように光ループの光路長を調節する調節器 14 と、信号光に基づきレーザ発振をモードロックするための非線形光学媒質 16 とを含む。例えば、3 次非線形効果により信号光をポンプ光とする四光波混合が生じ、非線形光学媒質において振幅変調が発生し、レーザ発振波長で光クロックが再生される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社